

Голографические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленок

З. Т. Азаматов, Ш. Б. Утамурадова, Н. Н. Базарбаев, М. Р. Бекчанова,
Т. З. Азаматов, А. Б. Бахромов

Рассматриваются возможности использования халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленок (ХСП) для записи голографической информации. Приведены схемы и результаты исследования дифракционной эффективности в зависимости от времени экспозиции и голографических характеристик халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленок под влиянием γ -облучения. Установлено, что в интервале доз облучения (10^3 – 10^9 Р Рентген,) оптические свойства ХСП пленок и дифракционные эффективности записанных голограмм практически не меняются. Также доказано, что срок хранения записанных голограмм при определенных условиях составляет 15 лет и более.

Ключевые слова: ХСП-халькогенидные стеклообразные пленки, гамма-облучение, голография, интерферометрия, дифракционная эффективность, коэффициенты поглощения и пропускания.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-39-44

Введение

Одним из самых важных элементов голографической записи информации является регистрирующая среда, требования к которой в реальных устройствах могут изменяться в весьма широких пределах по чувствительности, разрешающей способности, времени хранения информации, времени записи, дифрак-

ционной эффективности и другим параметрам голограмм. Свойство обратимости (реверсивность) определяет возможность оперативного стирания записанной голограммы и записи новой. Необратимые регистрирующие материалы пригодны для использования только в постоянных запоминающих устройствах. К числу реверсивных сред относятся магнитооптические пленки, термопластические и фотохромные материалы, электрооптические кристаллы, халькогенидные стеклообразные полупроводники. Большой интерес представляют материалы с объёмными изменениями оптических свойств, особенно показателя преломления, что позволяет осуществить хранение информации в трехмерных матрицах наложенных объёмных голограмм с высокой дифракционной эффективностью [1–3].

Халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП), содержащие один или несколько халькогенов (S, Se, Te), являются перспективными регистрирующими материалами при передаче и обработке информации голографическими методами. Первые же исследо-

Азаматов Закиржан Тахирович, зав. лаб, д.ф.-м.н., профессор.

E-mail: zakir.azamatov@mail.ru

Утамурадова Шарифа Бекмурадовна, директор, д.ф.-м.н., профессор.

Базарбаев Нурлан Ниятуллаевич, с.н.с.

Бекчанова Мира Рузимовна, докторант.

Азаматов Тимур Закиржанович, м.н.с.

Бахромов Абдор Бурибой угли, докторант.

НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана.

Узбекистан, 100057, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, 20.

Статья поступила в редакцию 08 февраля 2022 г.

© Азаматов З. Т., Утамурадова Ш. Б., Базарбаев Н. Н., Бекчанова М. Р., Азаматов Т. З., Бахромов А. Б., 2022

вания свойств ХСП показали, что они обладают высокой разрешающей способностью, реверсивностью записи и не нуждаются в каких-либо процессах проявления или фиксации, т. е. имеют ценные свойства для использования в голографии и устройствах оптической обработки информации и, в частности, оптических процессорах, устройствах голографической памяти и устройствах ввода и вывода информации [4–10].

С другой стороны, высокий показатель преломления большинства ХСП позволяет использовать их в качестве тонкопленочных волноводов (ТПВ) в ближней ИК и видимой областях спектра, в частности, на основе объемных фазовых решеток. Такое уникальное сочетание волноводных свойств с возможностью записи голографических решеток и других фазовых неоднородностей в объеме ТПВ, делают пленки ХСП перспективными материалами для разработки на их основе решетчатых отражательных фильтров, направленных ответвителей, преобразователей поверхностных волн [11–14]. Развитие радиационных технологий и широкое применение сложных твердотельных материалов в изделиях микроэлектроники, в частности – в системах хранения и обработки информации, в различных объектах космической и ядерной технологий, выдвигает изучение природы процессов, протекающих под действием ионизирующих излучений в этих материалах. В свою очередь, требуется определение радиационной стойкости этих материалов, поиск методов ее повышения и возможности использования облучения для модификации их свойств [15–18]. С этой целью нами исследовались влияние радиационного воздействия на голографические характеристики ХСП пленок для систем записи, хранения и обработки информации.

Экспериментальная часть

Для определения дифракционной эффективности голограмм, записанных на образцах As-Se была использована оптическая установка, схема которой представлена на рис. 1. Записанные голограммы представляли собой интерференцию двух плоских пучков. Угол сходимости $\cong 30^\circ$. Источником излучения служил He-Ne лазер ЛГ-38.

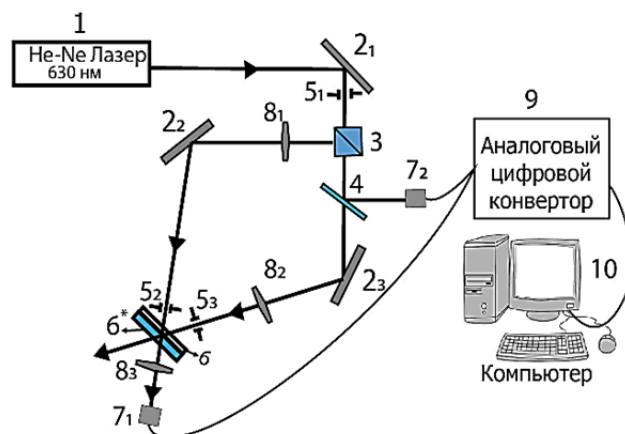


Рис. 1. Экспериментальная схема исследования голографических характеристик ХСП пленок:

1 – лазер ЛГ-38; 2₁, 2₂, 2₃ – плоские зеркала; 3 – кубическая призма; 4 – полупрозрачная пластина; 5₁, 5₂ – диафрагмы-маски; 6 – образец, 6* – подложка; 7₁, 7₂ – регистрирующие приборы; 8₁, 8₂, 8₃ – затворы

Луч лазера (рис. 1) (1) делится на кубической призме (5) на два пучка, которые затем сводятся на поверхности образца (6). Полученная таким путем голограмма представляет собой дифракционную решетку, частота штрихов которой зависит от параметров установки и может регулироваться. Для нашего случая $\nu = 1000$ штр/мм. Для получения максимального контраста полос введен фильтр (5₁), выравнивающий пучки по интенсивности. Маски (5₂, 5₃) служат для уменьшения ошибок, связанных с неоднородностью лазерного пучка и неточностью юстировки. Фотодатчики и, связанные с ними, регистрирующие приборы (8₁, 8₂, 8₃) служат для измерения дифракционной эффективности η , коэффициента прозрачности образца T и энергетических характеристик записи. Регистрирующий прибор отградуирован с учетом диафрагмирующего влияния масок (5₁, 5₂, 5₃). Дифракционная эффективность оценивалась по отношению мощности излучения опорного луча, дифрагированного в 1-й порядок при восстановлении голограмм, к мощности излучения самого опорного луча.

Коэффициент пропускания исходных образцов и подложек измерялись до записи голограмм с использованием зондирующего пучка двадцатикратно-ослабленного световым фильтром. Материалы системы As-Se в виде тонких пленок, нанесенных методом вакуумного напыления на стеклянные подложки различных марок и сапфир, подвергались

γ -облучению различных доз (10^3 – 10^9 Р). Для облучения образцы помещались в алюминиевую капсулу после чего вводились в активную зону соответствующего канала облучения γ -установки Co^{60} ИЯФ АН РУз.

Диапазон доз облучения был выбран на основании предварительного эксперимента, показавшего влияние γ -лучей на подложки различных марок стекла и сапфира. После облучения исследованные образцы исследовались на сохраняемость голограмм и запись новых, а затем в течение одной недели после облучения ежедневно проводились измерения дифракционной эффективности и коэффициента пропускания образцов, поскольку известно, что γ -облучения может навести ряд нестабильных центров закрашивания, которые могут высвечивать под влиянием температуры, рассеянного света и т. д. Результаты эксперимента приведены на рис. 2. Показаны – влияние γ -облучения на дифракционную эффективность записанных голограмм, – пропускания подложки, пленки и подложки с пленкой.

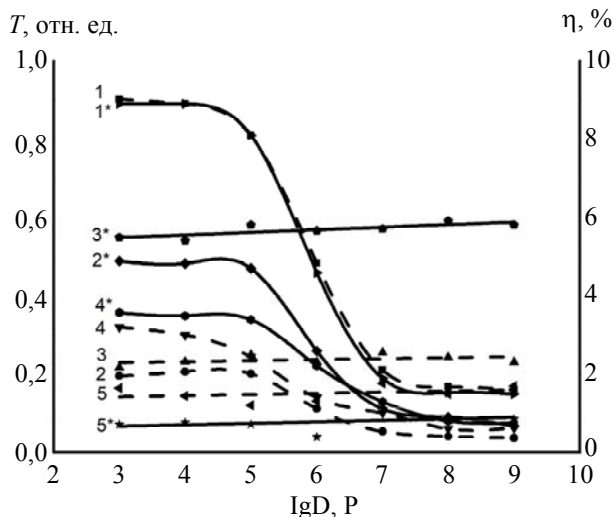


Рис. 2. Дозовые зависимости пропускания – T и дифракционной эффективности – η для образцов пленок $As_{70}Se_{30}$ (пунктирная линия) и $As_{60}Se_{40}$ – (сплошная линия). 1, 1* – $T_{\text{подложка}}$; 2, 2* – $T_{\text{подложка+пленка}}$; 3, 3* – $T_{\text{пленка}}$; 4, 4* – η , дифракционные эффективности; 5, 5* – отношение η к $T_{\text{подложка+пленка}}$ пропусканию

Значения отношения дифракционной эффективности к пропусканию имели разброс, обусловленный погрешностью эксперимента, но заметна скоррелированность этих данных.

Видно также, что изменения голографических характеристик образцов зависят от степени влияния γ -облучения на материал подложек, которое до доз 10^9 Р может изменяться в 4–8 раз, а дифракционная эффективность записанных голограмм пленок ХСП под воздействием γ -облучения, в диапазоне 10^3 – 10^9 Р практически не изменяется. Что говорит о том, что γ -облучение не приводит к какому-либо изменению в материале ХСП, которое бы влияло на свойства записанных голограмм.

Определённые относительные значения дифракционной эффективности η и сдвига края оптического пропускания $\Delta\lambda$ в 1-м цикле записи приведены на рис. 3.

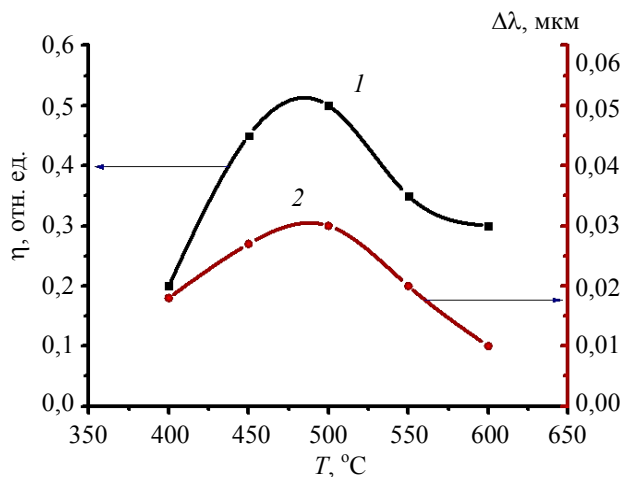


Рис. 3. Изменение дифракционной эффективности (η) и сдвига края оптического поглощения ($\Delta\lambda$) пленок $As_{40}Se_{60}$ полученных из объемных материалов с различной предисторией

Разброс их значений обусловлен, очевидно, некоторой неоднородностью толщин пленок. Максимальное пропускание наблюдалось в пленках, полученных из образца с $T_{\text{обр}} \sim 500$ °С.

Следует отметить, что полного стирания предистории не происходит даже после отжига пленки при температуре стирания ($T_{\text{ст}}$) и аналогичный характер зависимостей оптического пропускания $\Delta\lambda$ от $T_{\text{обр}}$ (хотя и менее выраженной) сохраняется у облученных отожженных пленок. Примечательным является то, что в итоге величина реверсивного оптического сдвига края поглощения после нескольких циклов «запись-стирание» для всех образцов принимает одинаковое значение. Что касается дифракционной эффективности (η),

то следует отметить, что наблюдаемые зависимости её от толщины образцов имеет, примерно, аналогичный характер для всех температур обработки, т. е. предыстории исходного материала. Однако, абсолютные значения η различны. Они растут с увеличением T , достигая максимального значения при $T \sim 500^\circ\text{C}$ (рис. 3).

Для создания различной тепловой предыстории исходные образцы одной партии обрабатывались в эвакуированных кварцевых ампулах при различных температурах ($T_{\text{обр}} = 390, 420, 550$ и 600°C) в течение 1 часа с последующей закалкой на воздухе.

Спектральную зависимость оптического пропускания свеженапыленных, облученных и отожженных пленок в области края фундаментального поглощения ($0,4\text{--}1,0$ мкм) изучали на спектрофотометре Hitachi. На кривых зависимостей $\Delta\lambda$ и η от $T_{\text{обр}}$ (см. рис. 3) отмечен максимум в области $\sim 500^\circ\text{C}$. Механизм влияния структурных особенностей объемных образцов на характеристики фотоиндуцированных превращений в пленках трудно проанализировать детально. Одно важно подчеркнуть факт наличия такой зависимости и значительное, более чем в 2 раза, изменение дифракционной эффективности при изменении тепловой предыстории исходного материала.

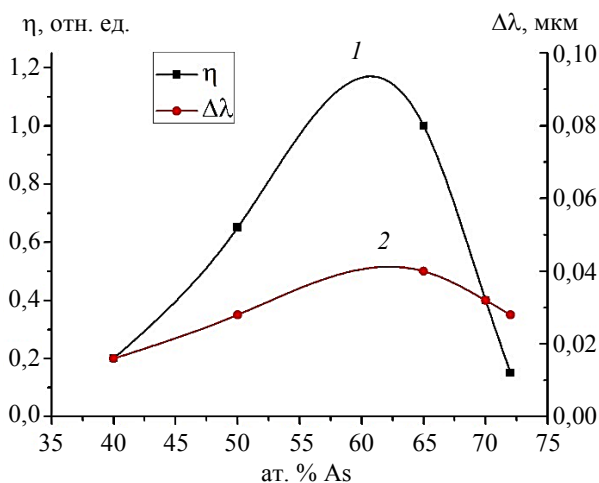


Рис. 4. Композиционные зависимости дифракционной эффективности (1) и сдвига края оптического поглощения (2) в As-Se пленках

Композиционные зависимости дифракционной эффективности и сдвига края оптического поглощения для пленок системы As-Se (рис. 4.) имеют максимум для пленок с

содержанием мышьяка 60 % ат. Уменьшение дифракционной эффективности при увеличении содержания As более 60 ат. %, очевидно, объясняется неустойчивостью пленок, состав которых выходит за пределы области остеклений. Возрастание дифракционной эффективности при изменении концентрации мышьяка от 40 до 60 ат. %, вероятно, обусловлено причинами, аналогичными рассмотренным для триселенида мышьяка с различной тепловой предысторией.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты свидетельствуют в пользу существенного влияния предыстории и объемных содержаний, вводимых халькогенов в мышьяк на абсолютные значения оптико-голографических параметров исследуемых материалов.

Заключение

Установлено, что зависимости значений дифракционной эффективности голограмм и сдвига края оптического поглощения пленок As-Se от температуры обработки исходного материала имеют экстремальный характер с максимальным значением при $T_{\text{обр}} = 500^\circ\text{C}$. Необходимо отметить значительное, более чем в 2 раза изменение дифракционной эффективности при изменении тепловой предыстории исходного материала.

Исследовано влияние ионизирующего излучения на оптические и голографические характеристики пленок систем As-Se. Установлено, что в интервале доз облучения ($10^3\text{--}10^9$ рентген) γ -облучение практически не приводит к какому-либо изменению в материале ХСП, которые влияют на свойства записанных голограмм, т. е. материал ХСП пленок в этом диапазоне радиационно устойчив. Изменения голографических характеристик образцов, по-видимому, зависит от степени влияния γ -облучения на материал подложек. Доказано, что срок хранения записанных голограмм при определенных условиях составляет более 15 лет.

Показана возможность использования таких халькогенидных стеклообразных полупроводников (пленок As-Se) как перспективных материалов в системах оптической обработки и хранения информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акаев А. А., Майоров С. А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988.
2. Акаев А. А., Гуревич С. Б., Жумалиев К. М., Муравский Л. И., Смирнова Т. Р. Голография и оптическая обработка информации. – Бишкек–С.Петербург, 2003.
3. Зюбрик А. И. Материалы для оптической записи информации. – Львов, 1982.
4. Коломиец Б. Т., Горюнова Н. А. // ЖТФ. 1955. Т. 25. № 6. Р. 984.
5. Mott N. F. // Rev. Mod. Phys. 1978. Vol. 50. № 2. Р. 203.
6. Kolomiets B. T. // Phys. Status. Solidi. 1964. № 7. Р. 359.
7. Азаматов З. Т., Минаев В. С., Михалев Н. И., Попов А. И., Кадырова Д. Р., Садыкова Ш. Влияния тепловой предыстории и состава на фотостимулированные превращения в пленках системы As-Se. – Москва энергетический институт. 1981. Вып. 537. С. 95.
8. Азаматов З. Т., Минаев В. С., Михалев Н. И. Влияния тепловой предыстории и состава на фотостимулированные превращения в пленках системы As-Se: сб. «Аморфные и стеклообразные полупроводники в пленках системы As-Se». – Калининград, 1982.
9. Матуаш М. Аморфные полупроводники. – ЧССР. 1978.
10. Kastner M., Frirshe H. // Phil. Mag. B. 1978. Vol. 37. № 12. Р. 99.
11. Звонарева Т. К. и др. // Журнал технической физики. 1978. Т. 48. № 5. С. 1021.
12. Любин В. М. // Аювтометрия. 1988. № 4. С. 18.
13. Богословский Н. А., Цэндин К. Д. // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46. Вып. 5. С. 577.
14. Джаманкызов Н. К., Пецкус А. М., Гуревич С. Б., Жумалиев К. М. Влияние процессов записи на информационные характеристики записываемых голограмм. – М.: Диалог МИФИ, 2004.
15. Доморяд И. А., Текучева И. А. Гамма-индуцированное изменение механических и оптических свойств некоторых ХСП // Физические явления в некристаллических полупроводниках: мат. конференции «Некристаллические полупроводники-89». – Ужгород, 1989.
16. Утамуродова Ш. Б., Музафарова С. А., Абдугафуров А. М., Файзуллаев К. М., Наурузалиева Э. М., Рахманов Д. А. // Прикладная физика. 2021. № 4. С. 81.
17. Матковский А. О., Шпотьок О. И. // Журнал прикладной спектроскопии. 1989. Т. 48. № 3. С. 448.
18. Муминов Р. А., Азаматов З. Т., Акбарова Н. А., Тукфатуллин О. Ф., Хусаинов И. А. // Гелиотехника. 2014. Т. 50. № 3. С. 156.

PACS: +42.40. Eq, 42.40. Ht, 42.40. Kw

Holographic properties of chalcogenide glassy semiconductor (CGS) films

Z. T. Azamatov, Sh. B. Utamuradova, N. N. Bazarbaev, M. R. Bekchanova,
T. Z. Azamatov, and A. B. Baxromov

Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan
20 Yangi Almazar st., Tashkent, 100057, Uzbekistan
E-mail: zakir.azamatov@mail.ru

Received February 08, 2022

The paper considers the possibility of using chalcogenide glassy semiconductor films (CGS) for recording holographic information. The schemes and results of the study of the diffraction efficiency depending on the exposure time and the holographic characteristics of chalcogenide glassy semiconductor films under the influence of γ -irradiation are presented. It was found that the optical properties of CGS films and the diffraction efficiency of the recorded holograms do not change in the range of radiation doses (10^3 – 10^9 Roentgen, R). It has also been proven that the shelf life of recorded holograms under certain conditions is 10 years or more.

Keywords: CGS-chalcogenide glassy films, TPV-thin-film waveguides, holography, digital holography, interferometry, diffraction efficiency, holograms.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-39-44

REFERENCES

1. A. A. Akaev and S. A. Mayorov, *Optical methods of information processing*. (Higher school, Moscow, 1988).
2. A. A. Akayev, S. B. Gurevich, K. M. Zhumaliev, L. I. Muravsky, and T. N. Smirnova, *Holography and optical information processing*. (Bishkek-Sank-Petersburg, 2003).
3. A. I. Zyubrik, *Materials for optical recording of information*. (Lvov, 1982).
4. B. T. Kolomiets and N. A. Goryunova, *JTF*, **25** (6), 984 (1955).
5. N. F. Mott, *Rev. Mod. Phys.* **50** (2), 203 (1978).
6. B. T. Kolomiets, *Phys. Status. Solidi*, No. 7, 359 (1964).
7. Z. T. Azamatov, V. S. Minaev, N. I. Mikhalev, A. I. Popov, D. R. Kadirova, and Sh. Sadikova, Influence of thermal prehistory and composition on photostimulated transformations in films of the As-Se system. – Moscow Power Engineering Institute, No. 537, 95 (1981).
8. Z. T. Azamatov, V. S. Minaev, N. I. Mikhalev, Effects of thermal prehistory and composition on photostimulated transformations in films of the As-Se system / Collection "Amorphous and glassy semiconductors in films of the As-Se system". (Kaliningrad, 1982).
9. M. Matiash, *Amorphous semiconductors* (Czechoslovakia, 1978).
10. M. Kastner and H. Frirshe, *Phil. Mag. B.* **37** (12), 99 (1978).
11. T. K. Zvonareva et al., *Journal of Technical Physics* **48** (5), 1021 (1978).
12. V. M. Lyubin, *Avtometriya*, No. 4, 18 (1988).
13. N. A. Bogoslovsky and K. D. Tsendin, *Physics and technology of semiconductors* **46** (5), 577 (2012).
14. N. K. Jumankyzov, A. M. Petskus, S. B. Gurevich, and K. M. Zhumaliev, *The influence of the recording processes on the information characteristics of the drawn holograms*. (Dialogue MEFhI, Moscow, 2004).
15. I. A. Domoryad and I. A. Tekucheva, Gamma-induced change in the mechanical and optical properties of some CGS Physical phenomena in non-crystalline semiconductors. Materials of the conference "Non-crystalline semiconductors -89". (Uzhgorod, 1989). p. 138.
16. Sh. B. Utamuradova, S. A. Muzafarova, A. M. Abdugofurov, K. M. Fayzullaev, E. M. Naurzalieva, and D. A. Rahmonov, *Applied Physics*, No. 4, 81 (2021) [in Russian].
17. A. O. Matkovsky and O. I. Shpotyuk, *Journal Applied Spectroscopy* **48** (3), 448 (1989).
18. R. A. Muminov, Z. T. Azamatov, N. A. Akbarova, O. F. Tukfatullin, and I. A. Khusainov, *Applied Solar Energy* **50** (3), 156 (2014).